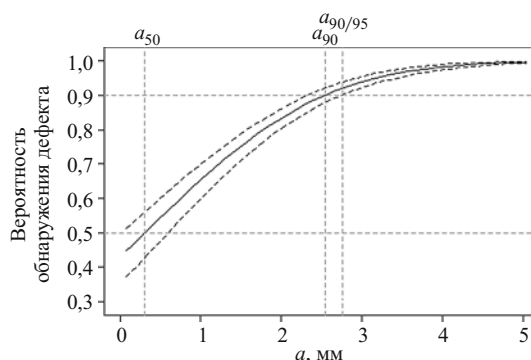


Рис. 7. Линейная модель

На этой кривой важнейшие точки a_{50} , a_{90} , $a_{90/95}$ — это размеры дефектов, которые будут выявляться с вероятностью 50, 90 % и 90 % с доверительным интервалом 95 %. В данном случае $a_{50} = 0,3092$ мм, $a_{90} = 2,541$ мм, $a_{90/95} = 2,754$ мм.

Таким образом, рассмотрен пример расчета кривой вероятности обнаружения дефектов с использованием математической модели симуляции результа-

Рис. 8. Кривая *POD*

тов контроля. Описана методика проведения контроля, рассмотрены мешающие факторы, их природа и способы симуляции. Представлена конечно-элементная модель, проведена симуляция результатов контроля 350 дефектов.

REFERENCES

1. Berens A. P. NDE Reliability Data Analysis. — ASM Metals Handbook. Vol. 17. 9th Edition: Nondestructive Evaluation and Quality Control, ASM International, Materials Park, Ohio, 1988. P. 689 – 701.
2. USA Department of Defense Handbook, MIL-HDBK-1823, NDE system reliability assessment, 2009.
3. Jenson F., Iakovleva E., Dominguez N. Simulation supported *POD*: methodology and HFET validation case / AIP Conf. Proc. 2011. Vol. 1335. N 1. P. 1573.
4. URL: <http://StatisticalEngineering.com/mh1823> (accessed 20.01.2015).

Обмен опытом

ОПТИМИЗАЦИЯ СКОРОСТИ НАГРУЖЕНИЯ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЯХ НА ПРОЧНОСТЬ

Статья поступила 9 октября 2015 г.

При разработке современных механических конструкций требуется обоснованный анализ возможности применения тех или иных материалов. Одним из критериев выбора материалов является определение условий достижения ими предельных состояний в процессе реальной эксплуатации конструкции. При этом под предельными понимают такие состояния, при которых дальнейшее функционирование рассматриваемых объектов становится опасным или недопустимым [1].

Для уточнения оценок прочности и ресурса оборудования в штатных ситуациях в качестве одного из типов предельных состояний можно рассматривать возникновение циклического разрушения в мало- или многоцикловой области нагруженности конструкции.

При прочностных испытаниях на ресурс образцов материалов или элементов механических конструкций, как правило, используют программы нагружения циклической формы, носящие одноступенчатый либо многоступенчатый характер. Одноступенчатые программы задают постоянными среднюю величину нагрузки и размах циклического изменения этой нагрузки. У многоступенчатых программ указанные параметры на каждой ступени свои. Частоты циклических программ нагружения для большинства испытываемых металлических образцов лежат в диапазоне от нескольких долей до 20 – 30 Гц. Проведение испытаний по таким программам занимает длительное время, поэтому сокращение сроков их проведения является актуальной задачей. Она может быть решена посред-

ством максимального использования энергетических возможностей испытательного оборудования, но не в ущерб методическим требованиям проводимого эксперимента.

Вопросу проведения ресурсных испытаний, повышению точности и сокращению времени их выполнения посвящен ряд работ [2 – 5].

В данной статье рассмотрен способ оптимального использования энергетических возможностей испытательного оборудования для достижения указанной цели. Суть способа состоит в поддержании при циклических программах нагружения максимально допустимого расхода рабочей жидкости в испытательных установках с электрогидравлическим приводом за счет автоматического задания минимально возможной длительности полуциклов программы нагружения.

Известно, что величина экстремума расхода рабочей жидкости, потребляемой электрогидравлическим приводом, обратно пропорциональна длительности полуцикла, т.е.

$$Q_{iextr} = A/\tau_i, \quad (1)$$

где Q_{iextr} — экстремум расхода в i -м полуцикле программы нагружения; A — коэффициент, зависящий от амплитуды полуцикла, жесткости испытываемого образца и величины КПД электрогидравлического привода; τ_i — время i -го полуцикла.

Поскольку в течение длительного срока проведения испытаний КПД электрогидравлического привода и жесткость испытываемого изделия могут меняться, то возникает необходимость изменять время полуцикла нагружения таким образом, чтобы выполнялось условие

$$Q_{iextr} = A/\tau_{min} = Q_{max}, \quad (2)$$

где Q_{max} — максимально допустимый расход рабочей жидкости; τ_{min} — минимально возможное время полуцикла при текущем значении коэффициента A .

На рис. 1 показана структурная схема системы автоматического изменения длительности последующего полуцикла нагружения τ_{i+1} с учетом длительности предыдущего полуцикла τ_i и фактического максимального расхода рабочей жидкости в i -м полуцикле (Q_{iextr}).

Предложенная схема функционально реализует соотношение

$$\tau_{i+1} = \tau_i Q_{iextr}/Q_{max}, \quad (3)$$

причем максимальный расход Q_{iextr} при постоянной амплитуде циклической программы нагружения зависит от изменения жесткости образца и КПД электрогидропривода.

В состав структурной схемы входят блок задания параметров программ нагружения (экстремумов циклических функций и длительности первого полуцикла каждой ступени нагружения, а также длительности и

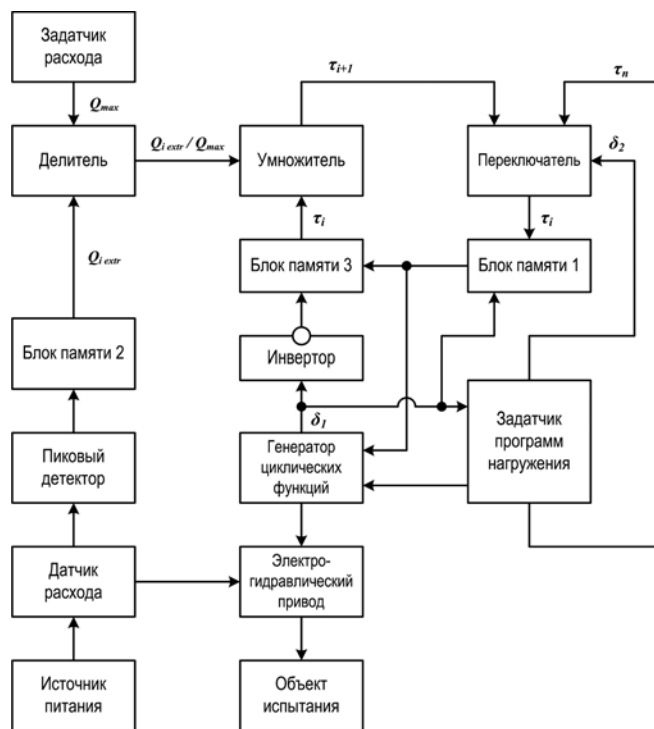


Рис. 1. Структурная схема автоматического изменения скорости нагружения

ординат перехода с одной ступени на другую) и блок генерации программной функции, который обеспечивает переход от одного экстремума к другому по заранее заданной траектории, например, по линейной или синусоидальной. Кроме того, структура включает в себя ряд служебных блоков, необходимых для выполнения ранее описанных вычислительных операций по определению τ_{i+1} , т.е. коррекции длительности следующего полуцикла программы нагружения.

Предлагаемая система работает следующим образом. До начала испытаний на задатчике расхода устанавливаются величину максимально допустимого расхода рабочей жидкости Q_{max} . В процессе реализации программы нагружения система в зависимости от участка программы работает в одном из двух режимов — циклическом (основном) и нециклическом (переходном от одной ступени нагружения к другой).

В циклическом режиме работы задатчик программы нагружения передает на генератор циклических функций ординаты максимума и минимума ступени циклической программы нагружения, а через коммутатор и блок памяти 1 (см. рис. 1) — первоначальную (расчетную без коррекции) длительность первого полуцикла этой ступени. После генерации первого полуцикла при достижении экстремума генератор циклических функций вырабатывает импульс δ_1 , который поступает на задатчик параметров программ нагружения для подсчета числа циклов нагружения, входящих в данную ступень программы. По этому сигналу задатчик параметров программ нагружения вырабатывает сигнал δ_2 и коммутатор соединяет выход умножи-

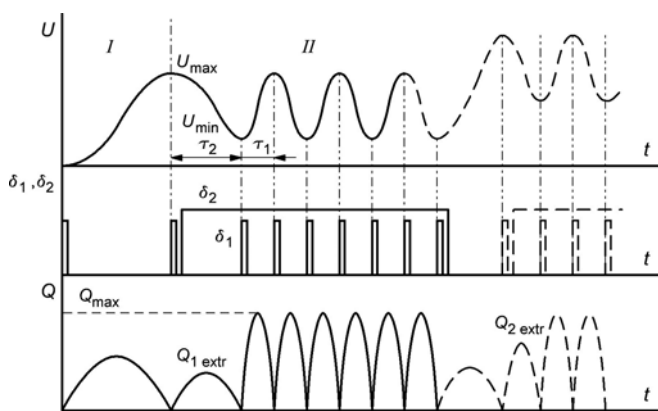


Рис. 2. Графики изменения программного сигнала, расхода рабочей жидкости и управляющих сигналов

теля с входом блока памяти 1, на который будут поступать скорректированные величины длительности следующих полуциклов. Запись информации в блок памяти 1 происходит по сигналу δ_1 . С информационного выхода генератора циклических функций сигнал переходит на управляющий вход электрогидравлического следящего привода. Датчик расхода измеряет расход рабочей жидкости, поступающей от источника питания. Максимальная величина этого расхода за полуцикл Q_{iextr} определяется пиковым детектором и записывается в блок памяти 2. С выхода блока памяти 2 величина Q_{iextr} подается на делитель, где выполняется операция Q_{iextr}/Q_{max} . Результат деления поступает на один вход умножителя, а величина τ_i длительности текущего полуцикла блока памяти 3 — на другой его вход; тем самым выполняется соотношение (3). Информация о τ_i записывается с блока памяти 1 на блок памяти 3 после исчезновения импульсного сигнала δ_1 . Для этого на входе управления записью блока 3 стоит устройство, инвертирующее сигнал δ_1 . Сдвиг по времени записи информации в блоки памяти 1 и 3 необходим для обеспечения последовательности в передаче информации о величине длительности i -го и $(i+1)$ -го полуциклов, что необходимо для реализации соотношения (3). После выполнения заданного числа циклов на данной ступени программы задатчик программ снимает сигнал δ_2 .

При нециклических режимах сигнал δ_2 отсутствует и коммутатор соединяет блок памяти 1 с выходом длительности полуциклов задатчика параметров программ нагружения. В этом случае длительность полуциклов не корректируется, а устанавливается при формировании программы.

Для иллюстрации описанного способа на рис. 2 приведены графики изменения программного сигнала (U), управляющих сигналов δ_1 , δ_2 и фактической величины экстремальных расходов рабочей жидкости Q_{iextr} в процессе коррекции скорости (частоты) нагружения.

Можно констатировать, что предложенный способ генерации программ нагружения при ресурсных

испытаниях позволяет устранить неточность программного задания длительности первого полуцикла τ_i каждой ступени программы, а при изменении параметров объекта испытаний и КПД привода (изменения коэффициента A) — проводить непрерывную автоматическую коррекцию полуцикла τ_i таким образом, чтобы экстремумы расхода в каждом полуцикле сохраняли заданное максимальное значение Q_{max} .

При повышении жесткости объекта и КПД привода частота нагружения будет автоматически повышаться, при уменьшении — понижаться. В результате с учетом заданного ограничения по расходу рабочей жидкости обеспечивается максимально возможная частота циклического нагружения в условиях изменяющихся параметров привода и объектов испытаний.

Предложенный алгоритм управления при циклических испытаниях на ресурс может быть реализован на базе современных средств вычислительной техники, в частности микроконтроллеров, что существенно (на 10 – 15 %) сократит сроки их проведения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Махутов Н. А. Обоснование предельных состояний материалов и конструкций в штатных и нештатных ситуациях / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2013. Т. 79. № 12. С. 3 – 5.
2. Щербань К. С. Ресурсные испытания натурных конструкций самолетов. — М.: Физматлит, 2009. — 234 с.
3. Стерлин А. Я., Свирский Ю. А. Принцип управления циклическим нагружением при прочностных испытаниях / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2014. Т. 80. № 4. С. 64 – 66.
4. Стерлин А. Я. Метод коррекции скорости нагружения при циклических испытаниях на прочность / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. Т. 81. № 8. С. 47 – 49.
5. Стерлин А. Я., Свирский Ю. А. Метод нагружения при усталостных испытаниях образцов конструкций / Авиационная промышленность. 2015. № 2. С. 3 – 6.

REFERENCES

1. Makhutov N. A. Obosnovanie predel'nykh sostoyanii materialov i konstruktstii v shtatnykh i neshtatnykh situatsiyakh [Justification of the limit states of materials and structures in normal and abnormal situations] / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2013. Vol. 79. N 12. P. 3 – 5 [in Russian].
2. Shcherban' K. S. Resursnye ispytaniya naturnykh konstruktstii samoletov [Full-scaled structures lifetime tests]. — Moscow: Fizmatlit, 2009. — 234 p. [in Russian].
3. Sterlin A. Ya., Svirskiy Yu. A. Printsip upravleniya tsiklicheskim nagruzheniem pri prochnostnykh ispytaniyakh [Principle of cyclic loading control in the strength tests] / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2014. Vol. 80. N 4. P. 64 – 66 [in Russian].
4. Sterlin A. Ya. Metod korrektsii skorosti nagruzheniya pri tsiklicheskih ispytaniyakh na prochnost' [Adjusting of the Loading Rate in Cyclic Strength Tests] / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2015. Vol. 81. N 8. P. 47 – 49 [in Russian].
5. Sterlin A. Ya., Svirskii Yu. A. Metod nagruzheniya pri ustalostnykh ispytaniyakh obraztsov konstruktstii [Loading approach under fatigue tests of structural specimens (models)] / Aviats. Promyshl. 2015. N 2. P. 3 – 6 [in Russian].

© А. Я. Стерлин

Центральный аэрогидродинамический институт
им. проф. Н. Е. Жуковского,
г. Жуковский, Московская обл., Россия;
e-mail: andrey.sterlin@tsagi.ru